(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報（A）

(11)特許出願公開番号
特開平5－346508
(43)公開日　平成5年(1993)12月27日

(51)Int. Cl.⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G02B　5/32		9018－2K		
27/02	A	9120－2K		
27/10		8106－2K		
G03H　1/00		8106－2K		

審査請求　未請求　請求項の数13　(全11頁)

(21)出願番号　特願平4－179407

(22)出願日　平成4年(1992)6月12日

(71)出願人　000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者　谷口　尚郷
東京都大田区下丸子3丁目30番2号　キヤノン株式会社内

(72)発明者　森島　英樹
東京都大田区下丸子3丁目30番2号　キヤノン株式会社内

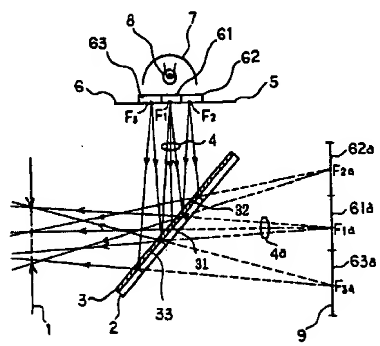
(72)発明者　須藤　敏行
東京都大田区下丸子3丁目30番2号　キヤノン株式会社内

(74)代理人　弁理士　高梨　幸雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置

(57)【要約】
【目的】　観察視野が広く均一の明るさで観察することができるｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置を得ること。
【構成】　画像表示器からの画像情報に基づく光束を所定方向に回折させて、該画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察する為のホログラムレンズであって、該ホログラムレンズはN．Aが等しい複数の要素ホログラムからなるｏｆｆ－ａｘｉｓ型であることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】　ｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズにおいて、該ホログラムレンズが複数の要素ホログラムに分割されており、かつ、各要素ホログラムのN．Aが等しくなるように各要素ホログラムサイズが分割されていることを特徴とするｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズ。

【請求項2】　画像表示器からの画像情報に基づく光束をN．Aが等しい複数の要素ホログラムから成るｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズを介し、所定方向に回折させて、該画像情報と該ホログラムレンズの背後の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察するようにしたことを特徴とする表示装置。

【請求項3】　前記ホログラムレンズが体積位相型ホログラムであることを特徴とする請求項1のホログラムレンズ。

【請求項4】　前記ホログラムレンズが体積位相型ホログラムであることを特徴とする請求項2の表示装置。

【請求項5】　画像表示器からの画像情報に基づく光束をホログラムレンズを介して回折させて、該画像情報と該ホログラムレンズの背後の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察する際、該画像表示器と該ホログラムレンズとの間の光路中にプリズムを設けたことを特徴とする表示装置。

【請求項6】　前記画像表示器と前記ホログラムレンズとの間の光路中にリレーレンズを設けたことを特徴とする請求項5の表示装置。

【請求項7】　前記画像表示器と前記プリズムとの間の光路中にリレーレンズを設けたことを特徴とする請求項5の表示装置。

【請求項8】　前記画像表示器の中間結像面を前記プリズムと前記ホログラムレンズとの間、又は前記プリズム近傍に設けることを特徴とする請求項7の表示装置。

【請求項9】　前記プリズムは前記ホログラムから生じる非点収差を補正するように配置していることを特徴とする請求項5の表示装置。

【請求項10】　前記ホログラムレンズはコマ収差を補正する波面を用いて作製されていることを特徴とする請求項5の表示装置。

【請求項11】　前記リレーレンズは前記ホログラムレンズのコマ収差を補正していることを特徴とする請求項6又は7の表示装置。

【請求項12】　前記リレーレンズは偏心レンズを有していることを特徴とする請求項11の表示装置。

【請求項13】　画像表示器からの画像情報に基づく光束を所定方向に回折させて、該画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察する為のホログラムレンズであって、該ホログラムレンズはN．Aが等しい複数の要素ホログラムを有するｏｆｆ－ａｘｉｓ型より成っていることを特徴とするホログラムレンズ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置に関し、例えばホログラムレンズを光束結合素子として用い、画像表示器からの画像情報と前方視野（ホログラムレンズ背後）の自然風景等の他の画像情報とを空間的に重畳させて、双方の画像情報を同一視野で観察するような場合に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】多層膜反射面やホログラム光学素子等の光学的に透明な光束結合素子を用いて、表示素子からの表示情報（画像情報）と外界の光景等の画像情報とを同一視野内で空間的に重畳して観察するようにした表示装置は、一般にヘッドアップディスプレイ装置と呼ばれ、各分野で多用されている。

【0003】又、該ヘッドアップディスプレイ装置の光学装置の部品を小型にする為に、前記光束結合素子を観察者の眼に比較的近い場所に設け、光学装置をヘルメットに装着した表示装置はヘルメットマウントディスプレイ装置（HMD装置）と呼ばれ、航空機の操縦時の表示装置、ゲーム等の娯楽用、又は人工現実感(Artificial Reality)用の表示装置等の様々な応用が提案されている。

【0004】図10は米国特許第3，940，204号広報に記載されている表示装置としてのHMD装置の光路図である。

【0005】CRT（不図示）の画像表示面101から射出した表示光は、プリズムシステム102を透過して、リレーレンズ103へ入射する。該リレーレンズ103は、適当な曲率を有するバイザー（不図示）上に形成されたホログラムコンバイナ105の近傍の中間結像面104に表示光を結像する。該中間結像点から発散光となった表示光は、レンズ作用を有するホログラムコンバイナ105によって略平行光束にされ観察者の瞳106に入射する。従って、観察者は無限遠に結像したCRTの画像（虚像）を前方の風景107に重畳して観察することができる。

【0006】この表示装置において、ホログラムコンバイナが大きなｏｆｆ－ａｘｉｓ配置になっているために、該ホログラムコンバイナ105は複雑な収差を生じる。その為、本従来例ではプリズムシステム102やCRTの画像表示面101を傾けて配置し、ホログラムコンバイナ105で発生する収差を補正するように構成されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来の表示装置はホログラムコンバイナで発生する諸収差をプリズムシステムを傾けたり、リレーレンズを構成する一部のレンズを偏心させたりして補正していた。この為装置全体が複雑化し、又高い組立精度が要求されていた。

【0008】この他、従来の表示装置において観察視野を広くする為にはホログラムコンバイナを大きくしなければならず、それに伴いホログラムコンバイナから発生する収差が増大するという問題点があった。

【0009】これに対してホログラムコンバイナの増大を防止しつつ観察視野の拡大を図ったヘッドアップディスプレイ装置（表示装置）が例えば米国特許第３８０７８２９号や米国特許第３９１５５４８号等で提案されている。

【0010】そこではコンバイナとして同一寸法の複数の要素ホログラムより成るホログラムアレイをｏｆｆ－ａｘｉｓ（軸外し）配置して用いている。

【0011】しかしながらこの表示装置では観察者の眼に入射する各光束間でＮ．Ａ（開口数）が異なってきて明るさが不均一となるという問題点があった。

【0012】即ち、軸上光束のホログラムへの入射角をθin、軸外光束の画角をw、観察者の瞳径をaとすると入射光束のホログラム面上での寸法Hは、

$$H=a/\cos(\theta in+w)$$

で表される。

【0013】このうち、＋方向の軸外光束が入射するホログラム寸法は画角の増大と共に大きくなってくる。この結果、一般のヘッドアップディスプレイ装置やヘルメットマウントディスプレイ装置（ＨＭＤ装置）にこのような分割したホログラムレンズアレイ（コンバイナ）を用いるとＣＲＴ等の画像表示器上の各点から発する各光束の立体角が異なってくる為にコンバイナ（ホログラムレンズアレイの別機能）を介して重畳された画像は各要素ホログラムの寸法に対応して明るさが不均一になるという問題点があった。

【0014】この他、従来のＨＭＤ装置ではプリズムシステムを傾けてホログラムコンバイナの軸上コマ収差を補正している。しかしながらホログラムコンバイナからはコマ収差のほかに非点収差も多く発生してくる。

【0015】例えば観察者の瞳位置（入射瞳）近傍にホログラム記録光束の発散光源点を置き、射出瞳近傍に収束するあと１つの記録光束とを干渉させたホログラムコンバイナでは結像面上で軸上の非点隔差は約１３ｍｍ、画角±２０°では約５～１５ｍｍ程度ある。この為、画像情報を良好に観察するのが大変難しいという問題点があった。

【0016】本発明はホログラムレンズアレイの構成を適切に設定することにより、画像表示器からの画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳させて広い観察視野で均一の明るさで観察することができるｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置の提供を目的とする。

【0017】この他本発明はホログラムコンバイナを介して画像表示器からの画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳して同一視野で観察する際、画像表示器とホロ

グラムコンバイナとの間の光路中にプリズムを設けることにより、コマ収差や非点収差を良好に補正し、良好なる画像情報の観察が可能なホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置の提供を目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明のホログラムレンズはｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズにおいて、該ホログラムレンズが複数の要素ホログラムに分割されており、かつ、各要素ホログラムのＮ．Ａが等しくなるように各要素ホログラムサイズが分割されていることを特徴としている。

【0019】特に前記ホログラムレンズが体積位相型ホログラムであることを特徴としている。

【0020】本発明のホログラムレンズを用いた表示装置としては、

（１－イ）画像表示器からの画像情報に基づく光束をＮ．Ａが等しい複数の要素ホログラムから成るｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズを介し、所定方向に回折させて、該画像情報と該ホログラムレンズの背後の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察するようにしたことを特徴としている。

【0021】（１－ロ）画像表示器からの画像情報に基づく光束をホログラムレンズを介して回折させて、該画像情報と該ホログラムレンズの背後の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察する際、該画像表示器と該ホログラムレンズとの間の光路中にプリズムを設けたことを特徴としている。

【0022】特に前記画像表示器と前記ホログラムレンズとの間の光路中にリレーレンズを設けたこと、前記画像表示器と前記プリズムとの間の光路中にリレーレンズを設けたこと、前記プリズムは前記ホログラムから生じる非点収差を補正するように配置していること、前記ホログラムレンズはコマ収差を補正する波面を用いて作製されていること、前記リレーレンズは前記ホログラムレンズのコマ収差を補正していること、そして前記リレーレンズは偏心レンズを有していること等を特徴としている。

【0023】この他本発明のホログラムレンズは画像表示器からの画像情報に基づく光束を所定方向に回折させて、該画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳させて同一視野で観察する為のホログラムレンズであって、該ホログラムレンズはＮ．Ａが等しい複数の要素ホログラムを有するｏｆｆ－ａｘｉｓ型より成っていることを特徴としている。

【0024】

【実施例】図１は本発明のホログラムレンズの実施例１の要部概略図である。

【0025】同図において３はｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズである。本実施例ではホログラムレンズ３は３つの要素ホログラム３１，３２，３３を有するホ

ログラムレンズアレイより成る場合を示している。２は基板であり、その面上にホログラムレンズ３を形成している。１は絞り面であり、表示装置に適用したときの観察者の瞳に担当している。５は像面であり、表示装置に適用したときの画像表示器の画像情報の位置に相当している。１０７は自然風景等の他の画像情報であり、像面５に画像情報を配置したときホログラムレンズ３を介して双方の画像情報を空間的に重畳して同一視野で観察している。

【0026】次にホログラムレンズアレイ３を垂直方向に３つの要素ホログラムより構成した場合の光学特性について説明する。

【0027】まず軸上光束についての説明を行う。同図では光束は絞り面１から基板２上のホログラムレンズアレイ３へ入射角θ_1で入射する。このうち要素ホログラム３１は軸上光束を角度θ_2で光束４として反射回折する。このとき要素ホログラム３１は入射角度θ_1で入射してきた光束に対してのみブラッグ条件を満足するように構成しており、収束性の光束４へと波面変換して像面５上の結像点Ｆ１に集光している。

【0028】絞り面１からの光束は同じ入射角度θ_1でホログラムレンズアレイ３のうちの他の要素ホログラム３２，３３へも入射する。しかしながらこれら要素ホログラム３２，３３は入射角度θ_1ではブラッグ条件を満足せず所定の回折効率を有していない。本実施例ではこのようにして軸上光束のみが要素ホログラム３１で回折し結像点Ｆ１に集光するようにしている。

【0029】一方、画角＋ｗでホログラムレンズアレイ３に入射する光束に対しては、要素ホログラム３２でのみブラッグ条件を満足し、結像点Ｆ２へ集光するようにしている。同様に、画角－ｗで入射する光束に対しては結像点Ｆ３へ集光するようにしている。

【0030】本実施例ではホログラムレンズアレイ３によって結像させる光束の中心波長を５３０ｍｍとし、ホログラムレンズアレイ３の中心Ｃ１へ入射する入射角度$\theta_1=60°$、回折角を$\theta_2=20°$とし、該要素ホログラム３１の焦点距離を$f_{31}=50$ｍｍとしている。該要素ホログラム３１の中点Ｃ１での格子定数は面内格子ピッチ$P_{c1}=1.011\mu m$である。

【0031】更に、該要素ホログラム３１がブラッグ条件を満足する光軸上の光束径を$\phi 10$ｍｍとしている。該要素ホログラム３１の最も下の端の点Ｃ２では、面内格子ピッチ$P_{c2}=1.4466\mu m$であり、回折角は２９．９８°である。又、最も上の端の点Ｃ３では、面内格子ピッチ$P_{c3}=0.7396\mu m$であり、回折角は８．５９°に設定している。該要素ホログラム３１の開口数（Ｎ．Ａ）はＮ．Ａ＝０．３６となる様に分割し、その寸法は２０ｍｍに設定している。

【0032】次に、結像面５上の結像点Ｆ３へ集光する要素ホログラム３２について説明を行う。説明を簡単に

する為に、該要素ホログラム３２は画角＋ｗ＝１０°に対応するものとして説明を行う。尚、この画角ｗはｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイ３の仕様によって、適宜変更して設計されている。

【0033】本実施例においては、該要素ホログラム３２の焦点距離を$f_{32}=45$ｍｍとし、Ｎ．Ａ＝０．３６と設定している。このとき、要素ホログラム３１の最上端の点Ｃ３は、該要素ホログラム３２の最下端の点にも対応している。この点Ｃ３での面内格子ピッチは$P_{c3}=0.7396\mu m$であるから、この点Ｃ３へ画角＋ｗ＝１０°、つまり入射角７０°で入射する光線は回折角１２．８９°で回折される。

【0034】従って、該要素ホログラム３２のＮ．Ａは０．３６に設定されているので、該要素ホログラム３２の最上端の点Ｃ４では、面内格子ピッチ$P_{c4}=0.4874\mu m$、回折角－８．４９°（－符号は面法線から入射光線が存在する象現に回折光が含まれていることを示す。）となっている。

【0035】そこで本実施例では該要素ホログラム３２の寸法を約１７ｍｍに分割している。同様にして、画角－ｗ＝－１０°で使用される要素ホログラム３３は、焦点距離$f_{33}=60$ｍｍに設定しており、Ｎ．Ａ＝０．３６で約３０ｍｍの寸法に分割している。

【0036】以上、本発明のホログラムレンズアレイの垂直方向の分割方法について説明を行ったが、本実施例では水平方向についても、同様にＮ．Ａを一定にする様に分割している。

【0037】図２は図１のホログラムレンズ３を光束結合素子としてヘルメットマウントディスプレイ装置（ＨＭＤ装置）に適用したときの実施例１の要部概略図である。図２において図１で示した要素と同一要素には同符番を付している。

【0038】本実施例ではハロゲンランプ等の光源８から発せられた光束は適宜な形状を有するランプハウス７で略平行光とし、画像表示器の画像情報としての液晶表示素子６を照明している。液晶表示素子６の表示面５上の点Ｆ１の画像情報から発せられる光束４は、ガラスやプラスチック等の透明な基板２上に形成されたホログラムレンズアレイ３へ入射する。

【0039】該ホログラムレンズアレイ３は光束４に対してのみブラッグ条件を満足する要素ホログラム３１を有しており、光束４は該要素ホログラム３１でのみ反射回折され観察者の瞳１へ入射する。このとき、要素ホログラム３１は光束４をわずかな発散光束へ変換するレンズ作用を有している。観察者は表示面５の点Ｆ１の画像情報をホログラムレンズアレイ３の前方の点Ｆ１ａから発散してきた光束４ａに基づく虚像として観察している。

【0040】同様の理由により、液晶表示素子６の表示面５上の点Ｆ２，Ｆ３の画像情報から発光した光束は、

それぞれ要素ホログラム３２，３３によってのみ観察者の瞳１方向へ反射回折される。これにより、点Ｆ２，Ｆ３の画像情報をホログラムレンズアレイ３の前方の点Ｆ２ａ，Ｆ３ａから発散してきた光束に基づく虚像として観察している。

【００４１】以上の如く、液晶表示素子６の表示面５上の各点は各要素ホログラム３１，３２，３３で反射回折され、虚像面９を形成する。

【００４２】尚、本発明では白色光源を使用しても、要素ホログラムは波長選択性（回折効率の波長依存性）を有している為に、ブラッグ条件を満足する中心波長λ_0の光束で回折効率のピークを有している。このとき半値全幅を$2\Delta\lambda$とすると、該要素ホログラムは入射してきた白色光のうち、$\lambda_0-\Delta\lambda$から$\lambda_0+\Delta\lambda$の光束に対してのみ反射回折作用を生じる。この為、本実施例では光源としてハロゲンランプを使用している。

【００４３】又、当然のことながら、ハロゲンランプからの光束と必要な波長の光束のみも透過する干渉フィルターを用いても良い。又、本実施例では各要素ホログラム３１，３２，３３はそれぞれ良好に収差補正された領域６１，６２，６３を有しており、各領域６１ａ，６２ａ，６３ａからなる虚像面９上の点はほとんど無収差に近い点像となって観察できる。

【００４４】以上本実施例では、反射ｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイを用いてヘルメットマウントディスプレイ装置を構成したが、透過ｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイを用いても同様に構成することができる。

【００４５】更に、本実施例では前記ホログラムレンズアレイ３の像面と液晶表示素子６の表示面５を一致させて構成した場合についてのみ説明したが、リレーレンズを用いて、ＣＲＴや液晶表示素子の表示面をリレーレンズの中間結像面へ変換し、該中間結像面が本実施例の表示面５（ホログラムレンズアレイの物面）に一致する様に構成しても良い。

【００４６】又、光源の不必要な波長光をカットする為のコールドミラーや赤外カットフィルター等を適宜使用して表示装置を構成しても良い。

【００４７】本実施例においては、一つの波長光に対してのみ回折効率を有するホログラムレンズアレイを用いて表示装置を構成したが、回折中心波長が赤、青、緑である様なホログラムレンズアレイを組み合わせて、同様の表示装置を構成することも可能であり、これによれば多色表示やフルカラー表示も行うことができる。

【００４８】図３は本発明のホログラムレンズの実施例２の模式図である。

【００４９】本実施例ではホログラムレンズアレイを５×５の要素ホログラムより構成した場合を示している。

【００５０】図中（ｉ，ｊ）（ｉ，ｊ＝－２～２）で示される要素ホログラムは、光軸となる点Ｃ１を含む軸上光束用の要素ホログラム（０，０）に対して、それぞれ垂直方向、水平方向の各画角の番号を示している。例えば要素ホログラム（ｉ，ｊ）＝（２，２）では垂直方向に画角＋ｗ＝＋２０°、水平方向に画角＋ｗ＝＋２０°であり、要素ホログラム（ｉ，ｊ）＝（－１，＋１）は垂直方向に画角－１０°、水平方向に画角＋１０°の入射光束に対して作用する要素ホログラムを示している。

【００５１】前述した様に、垂直方向については画角ｗが＋符号で大きいほど、要素ホログラムの分割寸法は小さい。

【００５２】しかしながら、水平方向については（０，０）番目の要素ホログラムの点Ｃ１を通る線ＡＡ´に対して対称となる為に、±ｗの画角の要素ホログラムの分割寸法は等しくなる。つまりｉ＝０となる各要素ホログラムが最小の分割寸法となる。

【００５３】本実施例ではこの様に各要素ホログラムの寸法及び光学作用を特定することにより、各要素ホログラムのＮ．Ａを一定にして均一な明るさの画像情報の観察を可能としている。

【００５４】尚、本発明においてホログラムレンズアレイを構成する要素ホログラムの数は要素ホログラム間の境界で面内格子ピッチが等しく、かつ入射角と回折角が格子方程式を満足する様に接続し、更に各要素ホログラムがその要素ホログラムを利用する画角の光束に対してのみブラッグ条件を満足する様に設定すればいくつあっても良い。

【００５５】尚、以上の各実施例では反射型のｏｆｆ－ａｘｉｓ型ホログラムレンズアレイについて説明したが、透過型のｏｆｆ－ａｘｉｓ型ホログラムレンズアレイについても同様に適用可能である。

【００５６】次に本発明のｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイの作成方法について図１の要素ホログラム３１を例にとり説明する。尚、他の要素ホログラムについても作成方法は基本的に同じである。

【００５７】まず、図１に示すように要素ホログラム３１は、該ホログラムの面上の点Ｃ１で面内格子ピッチP_{c1}＝１．０１１μm、格子傾き角ϕ_{c1}＝１１．０４°、格子間隔d_{c1}＝０．１９３７μmとなる格子定数を有する。

【００５８】点Ｃ２ではP_{c2}＝１．２３７５μm、ϕ_{c2}＝９．１５°、d_{c2}＝０．１９６８μm、点Ｃ３ではP_{c3}＝０．８３９０μm、ϕ_{c3}＝１３．１４°、d_{c3}＝０．１９０７μmである。

【００５９】そこで図４を用いてこれらの格子定数を有する要素ホログラムを記録波長５１４．５ｎｍのアルゴンイオンレーザを用いて屈折率１．５の感光材料に記録する方法について説明する。

【００６０】図４においてアルゴンイオンレーザ１１から射出した波長５１４．５ｎｍのレーザ光は、ハーフミラー１２で２つの光束に分け、各々コリメータレンズシステム１３ａ，１３ｂで平行光束にしている。

【００６１】このうち一方の平行光束Ｌａは光軸に対して$\beta 1$を傾けて配置したレンズシステム１５へ入射し、ミラー１６で反射させている。ミラー１６からの反射光束１９は透明な基盤１７上に塗布または貼付された感光材料１８へ入射する。該入射光束１９は前記レンズシステム１５の画角$\beta 1$の軸外光束となっており、本発明によるｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズのｏｆｆ－ａｘｉｓ配置によって生じる収差や、使用（再生）時の波長（本実施例では５３０ｎｍである）と記録光波長（５１４．５ｎｍ）との波長差によって生じる収差等を補正する為の逆収差を発生させている。

【００６２】他方の平行光束Ｌｂはミラー２０で反射させ、光軸に対して$\beta 2$傾けて配置したレンズシステム２１で、収差を含む収束光束２２として感光材料１８へ入射させている。

【００６３】これらの各光束１９，２２はそれぞれ入射角θ_{r1}，θ_{r2}で感光材料１８に互いに対向する側から入射させて干渉させている。これより反射型のホログラムを記録している。

【００６４】尚、本実施例に用いる記録材料１８としては、重クロム酸ゼラチン、フォトポリマー、銀塩感材等種々のものが使用できるが、図４に示す実施例ではフォトポリマーを使用している。

【００６５】図５は記録光学系の感光材料１８へ入射する２光束１９，２２を誇張して示した光線の説明図である。

【００６６】図６は本要素ホログラム３１の面上の各点Ｃ１，Ｃ２，Ｃ３における記録レーザ光の入射角を示す説明図である。

【００６７】

図中点Ｃ１でθ_{r1}（Ｃ１）＝６９．８８°，θ_{r2}（Ｃ１）＝２５．４９°

点Ｃ２でθ_{r1}（Ｃ２）＝７０．９５°，θ_{r2}（Ｃ２）＝１９．３９°

点Ｃ３でθ_{r1}（Ｃ３）＝６９．０２°，θ_{r2}（Ｃ３）＝３１．２０°

であり、点Ｃ１から光束１９の１次結像点Ｐ１迄の距離は約６００ｍｍ、点Ｃ１から光束１９の結像点Ｐ２迄の距離は約８８ｍｍになっている。

【００６８】前述した様に要素ホログラム３１の寸法（点Ｃ２から点Ｃ３までの長さ）は２０ｍｍである。レンズシステム２１と感光材料１８との間の距離を５０ｍｍにしたので、レンズシステム２１のレンズ径は約３０ｍｍである。

【００６９】本発明では以上説明した方法を用いて、各要素ホログラムをステップ＆リピート法の様な手段によって記録することによってホログラムレンズアレイを作製している。このとき他の要素ホログラムを記録する際に、該要素ホログラムの中心への光束入射角はミラー１６，２０を回転させて行っている。又、要素ホログラムの寸法に応じて各入射光束１９，２２をマスク（不図示）や、液晶等の空間光変調器（不図示）を用いたりすることによって制限している。

【００７０】本実施例では回転対称なレンズシステムの軸外光束による収差光束を用いて要素ホログラムを記録する方法を用いたが、シリンドリカルレンズや偏心させたレンズを含むレンズシステム等の様な記録光学系を用いることも可能である。

【００７１】又、収差発生の為のレンズシステム１５，２１へは平行光束を入射させているが、本実施例のコリメーションシステム１３の代わりに凹レンズや凸レンズ、顕微鏡対物レンズ等を用いて発散光にしてレンズシステム１５，２１を有限結像系にして構成しても良い。

【００７２】以上の様に実施例１ではｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイを各要素ホログラムのＮ．Ａが等しくなる様に各要素ホログラムの寸法を設定し、これによりホログラム全面に渡って明るさが均一な広画角のｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイを構成している。

【００７３】又、該ｏｆｆ－ａｘｉｓ型のホログラムレンズアレイを用いて、ＣＲＴや液晶表示素子からの画像情報光を観察者の瞳へ反射回折させ、前記画像情報を観察する際、輝度ムラのない大画面の表示装置を構成している。

【００７４】図７は本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例２の要部概略図である。

【００７５】本実施例ではハロゲンランプ等の光源７１から発せられた光束は適宜な形状を有するランプハウス７２で略平行光束になり、画像情報としての液晶表示素子７３を照明する。該液晶表示素子７３上の各点から発せられる光束はプリズム７４で該入射光束に後述するホログラムレンズ７６と逆符号の非点収差を与え、ガラスやプラスチック等の透明な基板７５上に形成されたホログラムレンズ７６へ入射する。

【００７６】該ホログラムレンズ７６はプリズム７４で与えられた非点収差と逆符号の非点収差を生じている。この為に、該ホログラムレンズ７６に入射した光束はバランス良く収差補正された略平行な光束となって観察者の瞳７７へ入射する。

【００７７】これにより観察者はホログラムレンズ７６の前方に液晶表示素子３で形成された画像情報を虚像として他の画像情報８０と空間的に重畳して同一視野で観察している。

【００７８】前記ホログラムレンズ７６は入射光束に対し、特定の波長域の光束に対してのみ反射回折光率を有している（ブラッグ回折）。この為、入射光束が白色光であっても前記波長域の色光で画像情報の観察ができるようにしている。

【００７９】本実施例では特定の波長域の光束のみを透

過するフィルターを設けていないが、不要な波長光をカットしたり、ホログラムレンズによる色収差を防ぐために干渉フィルター等のフィルターを設けても良い。

【0080】同様に、光源71で生じる熱や赤外線の対策としてコールドミラーや赤外カットフィルター等を用いても良い。

【0081】次に本実施例の構成上の各要素の具体的な数値例について説明する。

【0082】本実施例に用いたホログラムレンズ6の製造方法としては、例えば波長514．5nmのアルゴンレーザからのコヒーレント光をハーフミラー等で2つの光束に分割し、このうち一方の光束を乾板から50mmの位置から発散する発散光束（記録光束）として、入射角0°（垂直入射）で入射させている。

【0083】又、他方の光束を乾板から100mmの位置に集光する収束光束として、入射角34°で前記記録光束に対して対向する方向から乾板に入射させている。そして該2つの光束による干渉縞を記録、現像したものを使用している。

【0084】感光材料としては重クロム酸ゼラチン、銀塩感材、フォトポリマー等種々のものが使用できるが、本実施例ではフォトポリマーを用いている。

【0085】又、本実施例に用いるプリズム74は屈折率1．91の光学ガラスからなるプリズム頂角が約16°、中心厚が約5mmでホログラムレンズ76から約21mmの位置に光軸と約5度をなす角度で配置している。又、前記プリズム74と液晶表示素子73との間の距離は約8mmである。更に、前記液晶表示素子73は光軸に対して約4°の角度で傾けて配置している。

【0086】図8は本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例3の要部概略図である。

【0087】本実施例では図7の実施例2に比べて液晶表示素子73とプリズム74との間にリレーレンズ78を設けたことと、該プリズム74を前記リレーレンズ78の中間結像面79近傍に配置したことが異なっており、その他の構成は略同じである。

【0088】次に実施例2と異なる点を中心に説明する。

【0089】リレーレンズ78は材質の屈折率が1．755、焦点距離が約14mmの両凸面の単レンズより成っている。ホログラムレンズ76とプリズム74とで生じる収差を補正するために、該リレーレンズ78の軸外収差を用いている。このため該リレーレンズ78の少なくとも一部のレンズは光軸に対して適当な偏心、傾きを与えて構成している。

【0090】液晶表示素子73と該リレーレンズ78との間の距離は約26mmで、該リレーレンズ78とプリズム74との間の距離は約23mm、該プリズム74とホログラムレンズ76との間の距離は約37mmである。該プリズム74は材質の屈折率が1．487、プリズム頂角が約10°、中心厚が約4mmであって、第1面（リレーレンズ側の面）は光軸に対して略垂直に配置している。

【0091】本実施例においてはリレーレンズ78によってもホログラムレンズ76によって生じる収差を補正するようにして、これによりより良好なる収差補正を行っている。

【0092】図9は本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例4の要部概略図である。

【0093】本実施例では図7の実施例2に比べて液晶表示素子73とプリズム74との間にリレーレンズ78を設けたことと、該プリズム74を前記リレーレンズ78の中間結像面79よりも前記リレーレンズ78に近い位置に配置したことが異なっており、その他の構成は略同じである。

【0094】次に実施例2と異なる点を中心に説明する。

【0095】リレーレンズ78は材質の屈折率が1．755、焦点距離が約15mmの両凸面の単レンズより成っている。ホログラムレンズ76とプリズム74とで生じる収差を補正するために、該リレーレンズ78の軸外収差を用いている。このため該リレーレンズ78は光軸に対して適当な偏心、傾きを与えて構成している。

【0096】液晶表示素子73と該リレーレンズ78との間の距離は約27mmで、該リレーレンズ78とプリズム74との間の距離は約16mm、該プリズム74とホログラムレンズ76との間の距離は約50mmである。該プリズム74は材質の屈折率が1．487、プリズム頂角が約5°、中心厚が約1．5mmであって、第1面（リレーレンズ側の面）は光軸に対して約30°傾けて配置している。

【0097】本実施例においてはリレーレンズ78によってもホログラムレンズ76によって生じる収差を補正するようにして、これによりより良好なる収差補正を行っている。

【0098】本実施例では実施例3に比べてプリズム74を小さくすることができるという特徴がある。

【0099】以上の実施例2，3，4において使用したホログラムレンズ76は、前述した如く発散光束と収束光束の2光束の干渉により作製しているが、これら記録光束に収差を与えて、ホログラムを記録し、該ホログラムの再生時（使用時）に生じる収差を補正するようにして作製しても良い。

【0100】又、これまでの実施例2，3，4においてプリズム76により非点収差を発生させていたが、本発明の表示装置において生じるコマ収差の補正は記録光束にコマ収差を与えてホログラムレンズを作製し、このとき得られるホログラムレンズを用いて構成しても良い。

【0101】以上のように実施例2，3，4によれば画像表示器からの画像情報光をホログラムレンズによって観察者の瞳方向へ回折して画像情報を虚像として観察する際、画像表示器とホログラムレンズとの間にプリズムを設けることにより、ホログラムレンズによって生じる非点収差を良好に補正し、解像度の高い鮮明な画像情報を観察することができる表示装置を構成している。

【0102】

【発明の効果】本発明によれば以上のようにホログラムレンズアレイの要素ホログラムサイズを適切に設定することにより、画像表示器からの画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳させて広い観察視野で均一の明るさで観察することができるoff－axis型のホログラムレンズ及びそれを用いた表示装置を達成することができる。

【0103】この他、本発明によればホログラムコンバイナを介して画像表示器からの画像情報と他の画像情報とを空間的に重畳して同一視野で観察する際、画像表示器とホログラムコンバイナとの間の光路中にプリズムを設けることによりコマ収差や非点収差を良好に補正し、良好なる画像情報の観察が可能な表示装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明のホログラムレンズアレイの実施例1の要部概略図

【図2】 本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例1の概略図

【図3】 本発明のホログラムレンズの実施例2の説明図

【図4】 本発明のホログラムレンズの作製方法の要部概略図

【図5】 本発明のホログラムレンズの記録光束の説明図

【図6】 本発明のホログラムレンズの記録光束の説明図

【図7】 本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例2の要部概略図

【図8】 本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例3の要部概略図

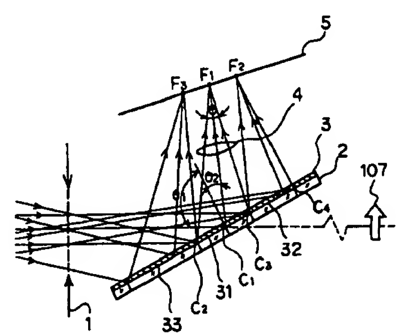
【図9】 本発明のホログラムレンズを用いた表示装置の実施例4の要部概略図

【図10】 従来のホログラムレンズを用いた表示装置の要部概略図

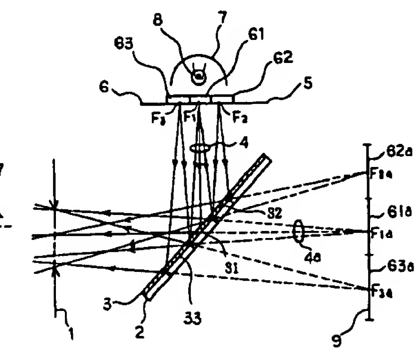
【符号の説明】

1，77 絞り面（瞳）
2，75 基板
3，76 ホログラムレンズ
4 光束
5 像面（画像情報）
6，73 画像表示器
7，72 ランプハウス
8，71 光源
74 プリズム
78 リレーレンズ
80 画像情報

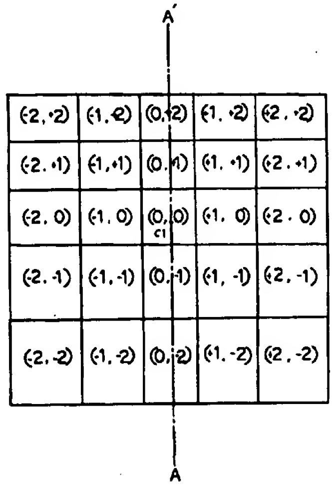
【図1】



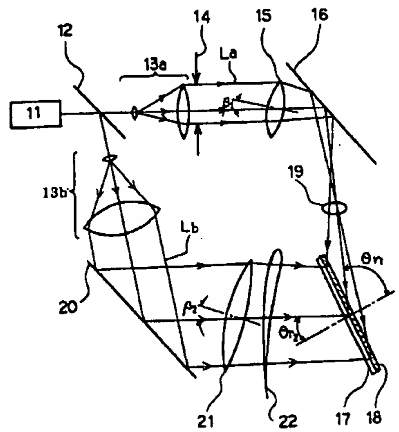
【図2】



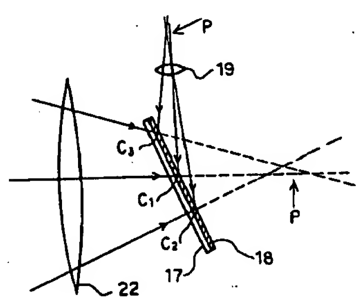
【図3】



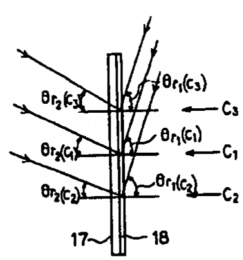
【図4】



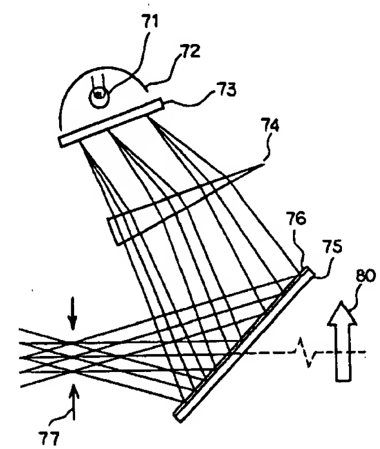
【図5】



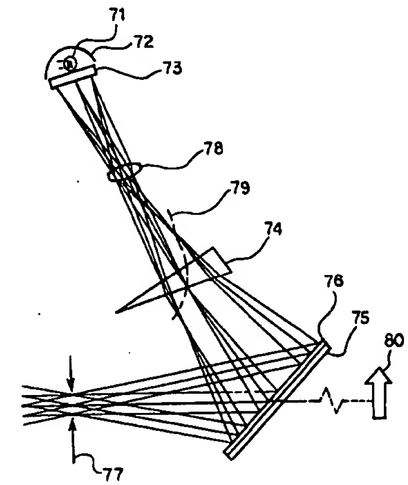
【図6】



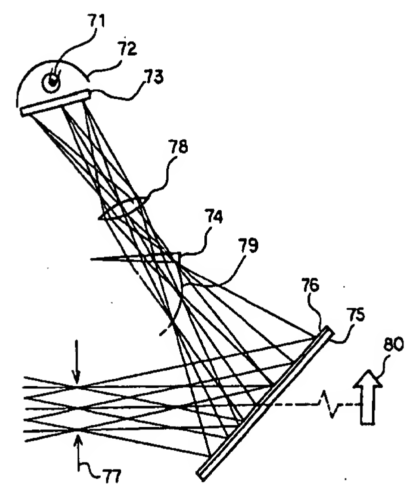
【図7】



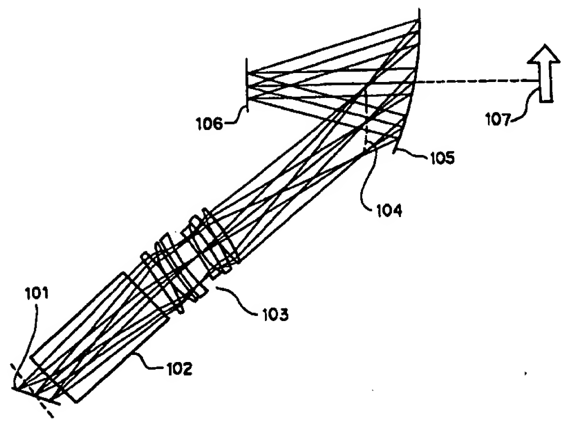
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者　吉永　曜子
東京都大田区下丸子３丁目30番２号　キヤノン株式会社内

(72)発明者　小林　辰
東京都大田区下丸子３丁目30番２号　キヤノン株式会社内

(72)発明者　松村　進
東京都大田区下丸子３丁目30番２号　キヤノン株式会社内

A Translation of Substantially the Whole of Japanese Patent Application Laid-Open No. H5-346508 (Laid-Open on December 27, 1993)

[Title of the Invention]

Hologram Lens and Display Apparatus Employing the Hologram Lens

[Abstract]

[Object]

To provide an off-axis type hologram lens that achieves a wide observation field of view and that permits observation of an image having an even brightness distribution, and to provide a display apparatus employing the hologram lens.

[Features]

A hologram lens by which a light beam emitted from an image display device in accordance with image information thereof is diffracted into a predetermined direction so that the image information and other image information are observed in the same field of view while being spatially superimposed on each other. The hologram lens is off-axis type and composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

[Claims]

[Claim 1] An off-axis type hologram lens,

wherein the hologram lens is divided into a plurality of elemental holograms, and the sizes of the individual elemental holograms are so set that they exhibit the same NA.

[Claim 2] A display apparatus,

wherein a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through an off-axis type hologram lens that is composed of a plurality of elemental holograms having the same N.A, and the image information and image information behind the hologram lens are spatially superimposed on each other and then observed in a same field of view.

[Claim 3] A hologram lens as claimed in claim 1,

wherein the hologram lens is a volume-phase type hologram.

[Claim 4] A display apparatus as claimed in claim 2,

wherein the hologram lens is a volume-phase type hologram.

[Claim 5] A display apparatus in which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through a hologram lens, and the image information and image information behind the hologram lens are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other,

wherein a prism is provided in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[Claim 6] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[Claim 7] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the prism.

[Claim 8] A display apparatus as claimed in claim 7,

wherein an intermediate image plane of the image display device is arranged between the prism and the hologram lens or near the prism.

[Claim 9] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein the prism is arranged in a manner so as to correct astigmatism occurring on the hologram lens.

[Claim 10] A display apparatus as claimed in claim 5,

wherein the hologram lens is manufactured by using a wave surface that corrects coma aberrations.

[Claim 11] A display apparatus as claimed in claims 6 or 7,

wherein the relay lens corrects coma aberrations occurring on the hologram lens.

[Claim 12] A display apparatus as claimed in claim 11,

wherein the relay lens includes a decentered lens.

[Claim 13] A hologram lens by which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction, and the image information and other image information are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other

wherein the hologram lens is off-axis type composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

The present invention relates to a hologram lens and a display apparatus employing the hologram lens, and particularly to a display apparatus in which, for example, by using a hologram lens as an element for binding light beams (hereinafter, it is referred to as a light-beams-binding element), image information from an image display device and other image information including a natural view in the front field (behind the hologram lens) are observed in the same field of view while being superimposed on each other.

[0002]

[Prior Art]

A display apparatus in which, by using a transparent light-beams-binding element made of a multilayer reflecting surface, a hologram optical element, or the like, display information (image information) from an image display device and image information of an outside view or the like are observed in the same field of view while being spatially superimposed on each other is generally called as a head-up display and widely used in many fields.

[0003]

And a display apparatus in which the light-beams-binding element is disposed near an observer's eye for miniaturizing components of an optical device in order to mount it on a helmet is called as a helmet-mounted display (HMD). And several applications thereof have been proposed including a display used by a pilot, a display for use in a leisure purpose such as games, and a display for use in the artificial reality field.

[0004]

Fig. 10 shows an optical path of an HMD functioning as a display apparatus disclosed in USP 3,940,204.

[0005]

In this apparatus, display light exited from an image display surface 101 of a CRT (not

shown) passes through a prism system 102, and enters a relay lens 103. The relay lens 103 focuses the display light on an intermediate image plane 104 near a hologram combiner 105 that is formed on a visor (not shown) having an appropriate curvature. The display light is emitted from the intermediate image plane as divergent light, and enters an observer's pupil 106 after being formed into a substantially parallel beam by the hologram combiner 105 functioning as a lens element. Therefore, the observer can observe an image of the CRT (virtual image) formed on an infinite-point while superimposing it on a front view 107.

[0006]

In this display apparatus, because the hologram combiner is widely off-axially arranged, the hologram combiner 105 causes complicated aberrations. Therefore, in this conventional example, the prism system 102 and the image display surface 101 of the CRT are obliquely arranged so as to correct the aberrations occurring on the hologram combiner 105.

[0007]

[Problems to be Solved by the Invention]

In a conventional display apparatus, aberrations occurring on a hologram combiner are corrected by inclining a prism system or by decentering a part of a relay lens. Therefore, the display apparatus as a whole becomes complicated and high accuracy is required to assemble such a display apparatus.

[0008]

In addition, in the conventional display apparatus, in order to secure a wider observation field of view, it is necessary to make the hologram combiner larger, and this causes larger amount of aberrations occur on the hologram combiner.

[0009]

To cope with this problem, for example, USP Nos. 3807829 and 3915548 disclose a head-up display (display apparatus) which prevents the hologram combiner from becoming larger while securing a wider observation field of view.

[0010]

Here, as a combiner, a hologram lens array composed of the same size of a plurality of elemental holograms is off-axially arranged.

[0011]

However, in this display apparatus, the NA (numerical apertures) are different in the individual light beams entering the observer's eye, and this makes a brightness distribution thereof uneven.

[0012]

In other words, if an incident angle of an axial light beam incident on the hologram is expressed as θin, a field of view of an off-axial light beam is expressed as w, and a pupil diameter of an observer is expressed as a, the size H of the incident light beam on the hologram surface is defined by

$$H = a / \cos(\theta in + w)$$

[0013]

Here, the size of the hologram on which an off-axial light beam in the positive (+) direction is incident becomes larger as the angle of view becomes wider. As a result, if such a divided hologram lens array (combiner) is used in a general head-up display or a helmet mounted display (HMD), the individual light beams emitted from the individual points on the image display device such as a CRT have different solid angles from each other, and therefore the image superimposed through the combiner (another function of the hologram lens array) exhibits an uneven brightness distribution in accordance with the sizes of the individual elemental holograms.

[0014]

In addition, in the conventional HMD, the prism system is obliquely arranged for correcting coma aberrations on the hologram combiner. However, not only coma aberrations but also many other types of aberrations occur on the hologram combiner.

[0015]

For example, in a hologram combiner in which a divergent-light-source-point emitting a light beam for recording hologram is disposed near the observer's pupil position (entrance pupil), and the recording light beam is made to interfere with another recording light beam that is focused near an exit pupil, astigmatic difference observed on the axis of the image-formation plane is around 13 mm and that observed at the angle of view ± 20° is around 5 to 15 mm. As a result, it is very difficult to satisfactorily observe the image information

thereof.

[0016]

An object of the present invention is to provide an off-axis type hologram lens which enables an observer to observe an image having a wide field of view and an even brightness distribution while spatially superimposing image information emitted from the image display device on other image information, and to provide an display apparatus employing the hologram lens.

[0017]

Another object of the present invention is, when image information from the image display device and other image information are observed in a same field of view through a hologram combiner while being spatially superimposed on each other, to provide a hologram lens that enables an observer to observe a favorable image by providing a prism in an optical path between an image display device and a hologram combiner for sufficiently correct coma aberrations and astigmatism.

[0018]

[Means for Solving the Problem]

To achieve the above object, according to the present invention, an off-axis type hologram lens, wherein the hologram lens is divided into a plurality of elemental holograms in a manner that the individual elemental holograms have the same NA.

[0019]

According to another aspect of the present invention, the hologram lens is a volume-phase type hologram.

[0020]

According to another aspect of the present invention, a display apparatus, wherein a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted in a predetermined direction through an off-axis type hologram lens composed of a plurality of elemental holograms having the same N.A, and the image information and image information behind the hologram lens are spatially superimposed on each other for being observed in a same field of view.

[0021]

According to another aspect of the present invention, a display apparatus in

which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction through a hologram lens, and the image information and image information behind the hologram lens are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other, wherein a prism is provided in an optical path between the image display device and the hologram lens.

[0022]

According to another aspect of the present invention, a relay lens is arranged in an optical path between the image display device and the prism, the prism is so arranged as to correct astigmatism occurring on the hologram, the hologram lens is manufactured by using a wave surface for correcting coma aberrations, the relay lens corrects coma aberrations occurring on the hologram lens, and the relay lens includes a decentered lens.

[0023]

According to another aspect of the present invention, a hologram lens in which a light beam emitted from an image display device in accordance with its image information is diffracted into a predetermined direction, and the image information and other image information are observed in a same field of view while being spatially superimposed on each other. The hologram lens is off-axis type and composed of a plurality of elemental holograms having the same NA.

[0024]

[Example]

Fig. 1 is a schematic diagram illustrating the principal part of the hologram lens array used in Example 1 of the present invention.

[0025]

In this figure, reference numeral 3 represents an off-axis type hologram lens. In this example, the hologram lens 3 is formed of a hologram lens array comprising three elemental holograms 31, 32, and 33. Reference numeral 2 represents a substrate on which the hologram lens 3 is formed. Reference numeral 1 represents an aperture surface which corresponds to an observer's pupil when the hologram lens is applied to a display apparatus. Reference numeral 5 represents an image plane which corresponds to a position of image information of an image display device when the hologram lens is applied to a display

apparatus. Reference numeral 107 represents other image information such as a natural view and when image information is delivered to the image plane 5 through the hologram lens 3, the observer observes both image information in a same field of view while spatially superimposing on each other.

[0026]

Then, the optical character of the hologram lens array 3 composed of three elemental holograms perpendicularly arranged will be explained.

[0027]

First, an axial light beam thereof will be explained. In this figure, the light beam exited from the aperture surface 1 enters the hologram lens array 3 formed on the substrate 2 at an incident angle of θ_1. Among the three elemental holograms, the elemental hologram 31 reflectively diffracts the axial light beam as a light beam 4 at an angel θ_2. Here, the elemental hologram 31 is so structured as to fulfill the Bragg condition only to a light beam having the incident angle of θ_1, and to achieve wave surface conversion to convert the light beam into a convergent light beam 4 which is condensed on the focal point F1 on the image plane 5.

[0028]

The light beam exited from the aperture surface 1 enters also the other elemental holograms 32 and 33 at the same incident angle θ_1; however, these elemental holograms 32 and 33 do not fulfill the Bragg condition to a light beam having the incident angle of θ_1, and they do not exhibit predetermined diffraction efficiency. Therefore, in this example, only the axial light beam is diffracted on the elemental hologram 31 and condensed on the focal point F1.

[0029]

On the other hand, to the light beam entering the hologram lens array 3 at an angle of view +w, it is so structured that only the elemental hologram 32 fulfills the Bragg condition, and that the light beam is condensed on the focal point F2. In the same manner, it is so structured that the light beam entering the hologram lens array 3 at an angle of view –w is condensed on the focal point F3.

[0030]

In this example, it is determined that the central wavelength of the light beam focused

by the hologram lens array 3 as 530 mm, the incident angle θ_1 incident on the center C1 of the hologram lens array 3 as 60°, the diffractive angel θ_2 as 20°, and the focal length f_{31} of the elemental hologram 31 as 50 mm. The grating constant at the center C1 of the elemental hologram 31 is so determined as to have in-plane grating pitch P_{c1} of 1.011 μm.

[0031]

Furthermore, the diameter of the axial light beam to which the elemental hologram 31 fulfills the Bragg condition is determined as ϕ 10 mm. The lowest edge point C2 of the elemental hologram 31 has in-plane grating pitch P_{c2} of 1.4466 μm and the diffraction angle of 29.98°. And the highest edge point C3 thereof has in-plane grating pitch P_{c3} of 0.7396 μm, and the diffraction angle of 8.59°. The elemental hologram 31 is so divided that the numerical apertures (NA) thereof becomes 0.36 and that the size thereof is 20 mm.

[0032]

Then, the elemental hologram 32 that condenses a light beam on the focal point F3 on the image plane 5 will be explained. To make the explanation simple, the elemental hologram 32 is so determined as to affect a light beam having the angle of view +w of 10°. Note that, the angle of view w is properly adjusted in accordance with the specification of the off-axis type hologram lens array 3.

[0033]

In this example, it is determined that the foal length f_{32} of the elemental hologram 32 as 45 mm, and the NA thereof as 0.36. Here, the highest edge point C3 of the elemental hologram 31 corresponds to the lowest edge point of the elemental hologram 32. Because the in-plane grating pitch P_{c3} on the point C3 is 0.7396 μm, the light beam entering the point C3 at an angle of view +w of 10°, i.e. the incident angle of 70°, is diffracted at the diffraction angle of 12.89°.

[0034]

Because the N. A. of the elemental hologram 32 is determined as to be 0.36, on the highest edge point C4 of the elemental hologram 32, in-plane grating pitch P_{c4} becomes 0.4874 μm and the diffraction angle becomes −8.49° (here, – means that a diffracted light beam is included in an incident light beam travels from the surface radiation)

[0035]

Therefore, in this example, the hologram lens array is so divided that the elemental hologram 32 has the size around 17 mm. In the same manner, the elemental hologram 33 used for the light beam having the angle of view – w of 10° is so determined as to have the focal length f_{33} of 60 mm and the N. A. of 6, and therefore the hologram lens array is so divided that the elemental hologram 33 has the size around 30 mm.

[0036]

How the hologram lens array embodying the present invention is divided in perpendicular direction is explained so far. However, in this example, the hologram lens array is also horizontally divided in a manner such that the each elemental holograms has the identical N. A.

[0037]

Fig. 2 is a schematic diagram illustrating the principal parts of Example 1 which applies the hologram lens array 3 shown in Fig. 1 to a helmet-mounted display (HMD) as a light-beams-binding element. In Fig. 2, such elements as are found also in Fig. 1 are identified with the same reference numerals.

[0038]

In this example, the light beam that is emitted from a light source 8 such as a halogen lamp is formed into a substantially parallel beam by a lamp house having an appropriate shape, and that illuminates a display surface 6 of a liquid crystal display conveying an image information of the image display device. The light beam 4 emitted from a point F1 on a display surface 5 of the liquid crystal display 6 enters a hologram lens array 3 formed on a transparent substrate 2 made of glass, plastics, or the like.

[0039]

The hologram lens array 3 has an elemental hologram 31 that fulfills the Bragg condition only to the light beam 4, and therefore the light beam 4 is reflectively diffracted only on the elemental hologram 31 and then enters an observer's pupil 1. Here, the elemental hologram 31 functions as a lens element that converts the light beam 4 into a slight divergent light beam. The observer observes the image information of the point F1 on the display surface 5 as a virtual image formed in accordance with a light beam 4a diverging from a point F1a in front of the hologram lens array 3.

[0040]

In the same manner, the light beams emitted from points F2 and F3 on the display surface 5 of the image display device 6 are reflectively diffracted into the observer's pupil 1 only by elemental holograms 32 and 33, respectively. Thereby, the observer observes the image information of the points F2 and F3 as a virtual image formed in accordance with the light beams diverging from points F2a and F3a in front of the hologram lens array 3.

[0041]

As described above, each point on the display surface 5 of the liquid crystal display 6 is reflectively diffracted by the individual elemental holograms 31, 32, or 33 so as to form a virtual image.

[0042]

Note that, although a white light source is used in the present invention, because the elemental holograms have wavelength selectivity (dependency of diffraction efficiency on wavelength), they exhibit the highest diffraction efficiency to the light beam having the central wavelength λ_0 that fulfills the Bragg condition. If the full width at half maximum thereof is expressed as $2\Delta\lambda$, among the white light beams incident on, the elemental holograms reflectively diffract only the light beams having the central wavelength from $\lambda_0 - \Delta\lambda$ to $\lambda_0 + \Delta\lambda$. Therefore, in this example, a halogen lamp is used as a light source.

[0043]

It is of course possible to use an interference filter that transmits only the light beams emitted from the halogen lamp and the light beams having the necessary wavelengths. In addition, in this example, the individual elemental holograms 31, 32, and 33 have regions 61, 62, and 63, respectively, in which aberrations are sufficiently corrected, and therefore all the points on the virtual image 9 that is composed of the individual regions 61a, 62a, and 63a can be observed as image points almost free from aberrations.

[0044]

As described above, in this example, a helmet-mounted display is constructed by using a reflection-off-axis type hologram lens array; however, it can be also constructed by using a transmission-off-axis type hologram lens array in the same manner.

[0045]

Furthermore, in this example, the case in which the display apparatus is structured by making the display surface 5 of the liquid crystal display 6 correspond to the image plane 5 of

the hologram lens array 3 is explained; however, by use of a relay lens, it is of course possible to structure the display apparatus by converting a display surface of a CRT or a liquid crystal display into an intermediate image plane of the relay lens in order to make the intermediate image plan correspond to the display surface 5 (object surface of the hologram lens array) of this example.

[0046]

Moreover, it is possible to construct the display apparatus by using a cold mirror or an infrared ray cut-off filter for preventing the light source from emitting a light beam having unnecessary wavelengths, if appropriate.

[0047]

In this example, the display apparatus is constructed by using the hologram lens array that exhibits diffraction efficiency only to a single wavelength; however, it is possible to construct a similar display apparatus by combining hologram lens arrays having central wavelengths of red, blue, or green, and this makes it possible to display a multicolor image or a fully colored image.

[0048]

Fig. 3 is a schematic diagram illustrating a hologram lens employed in Example 2 of the present invention.

[0049]

In this example, a hologram lens array is composed of 5 × 5 of elemental holograms.

[0050]

In this figure, the coordinates (i, j) (i, j = –2 to 2) indicate angles of view of light beams in the perpendicular and horizontal directions relative to an axial light beam including the point C1 that forms an optical axis which is affected by the elemental hologram (0, 0). For example, the elemental hologram (i, J) = (2, 2) indicates the elemental hologram that affects to a light beam having the angles of view +w of + 20° in perpendicular direction and of +20° in the horizontal direction. And the elemental hologram (i, j) = (–1, +1) indicates the elemental hologram that affects to an incident light beam having the angles of view of –10° in the perpendicular direction and of +10° in the horizontal direction.

[0051]

As described above, in the perpendicular direction, if the angle of view w having +

mark becomes larger, the elemental hologram is divided into a smaller size.

[0052]

However, in the horizontal direction, since the coordinate is symmetric with respect to the line AA' passing through the point C1 on the elemental hologram (0, 0), the elemental hologram is divided into the same size at the angle of view of +w and –w. Therefore, when i = 0, the elemental holograms are divided into a smallest size.

[0053]

In this example, by controlling the size of each elemental hologram and its optical function, the N. A. of each elemental hologram is fixed so that the image information having an even brightness distribution can be observed.

[0054]

Note that, according to the present invention, there is no restriction on the number of elemental holograms composing the hologram lens array, at least if boundaries of each elemental hologram have the same in-plane grating pitch, the individual elemental holograms connect to each other in a manner such that the incident angle and the angle of diffraction of them fulfill the grating equation, and each elemental hologram fulfills the Bragg condition only to the light beam having the angle of view affected by the elemental hologram.

[0055]

Note that, in the above example, a reflection-off-axis type hologram lens array is explained; however, a transmission-off-axis type hologram lens array can be used in the same manner.

[0056]

Then, the manufacturing process of the off-axis type hologram lens array embodying the present invention will be explained with reference to the elemental hologram 31 shown in Fig. 1. Note that, the manufacturing process of the other elemental hologram is basically the same.

[0057]

As shown in Fig. 1, the elemental hologram 31 has the grating constant such that, on the point C1 on the surface of the hologram, the in-plane grating pitch P_{c1} is 1.011 μm, the inclination angle of grating ϕ_{c1} is 11.04°, and the grating interval d_{c1} is 0.1937μm.

[0058]

On the point C2, the grating constant fulfills the following equations: $P_{c2} = 1.2375\ \mu m$, $\phi_{c2} = 9.15°$, and $d_{c2} = 0.1968\ \mu m$. On the point C3, the grating constant fulfills the following equations: $P_{c3} = 0.8390\ \mu m$, $\phi_{c3} = 13.14°$, and $d_{c3} = 0.1907\ \mu m$.

[0059]

Then, with reference to Fig. 4, the process how the elemental holograms having the above-mentioned grating constants are recorded by using an argon ion laser having a wavelength of 514.5 nm on a photosensitive material having a refractive index of 1.5 will be explained.

[0060]

In Fig. 4, the laser light having the wavelength of 514.5 nm emitted from the argon ion laser 11 is split into two light beams by a half mirror 12, and then the beams are collimated by collimeter systems 13a and 13b.

[0061]

One of the two collimated light beams La enters a lens system 15 that is arranged with its angle of view β1 inclined relative to the optical axis, and then is reflected on a mirror 16. The reflected light beam 19 reflected on the mirror 16 enters a photosensitive material 18 applied or attached to a transparent substrate 17. The incident light beam 19 is an off-axial light beam of the lens system 15 at the angle of view β1, and, on the incident light beam 19, aberrations opposite to those of the off-axial lens system of the present invention occur in order to correct those aberrations caused by the off-axial arrangement, and the difference in wavelength between the operating (or reproducing) wavelength (530 nm in this example) and the recording wavelength (514.5 nm).

[0062]

The other collimated light beam Lb is reflected from a mirror 20, and, by a lens system 21 obliquely arranged at β2 relative to the optical axis, made to enter the photosensitive material 18 as a convergent light beam having aberrations.

[0063]

The individual light beams 19 and 22, respectively, enter the photosensitive material 18 from the sides facing each other with the incident angles θ_{r1} and θ_{r2}, and interferes to each other. In this way, a reflection-type hologram is recorded.

[0064]

Note that, as the recording material 18 used in this example, dichromate gelatin, photopolymer, a silver-salt photosensitive material, or the like can be used. Among them, in Fig. 4, photopolymer is used.

[0065]

Fig. 5 is a diagram showing light beams with exaggeratedly illustrating the two light beams 19 and 22 entering the photosensitive material 18 disposed in a recording optical system.

[0066]

Fig. 6 is a diagram illustrating incident angles of recording laser beams on the points C1, C2, and C3 on the surface of the elemental hologram 31.

[0067]

In this figure, it is defined that on the point C1, θ_{ri} (C1) = 69.88°, θ_{r2} (C1) = 25.49°; on the point C2, θ_{ri} (C2) = 70.95°, θ_{r2} (C2) = 19.39°; and on the point C3, θ_{ri} (C3) = 69.02°, θ_{r2} (C3) = 31.20°. And the distance between the point C1 and a primary imaging point P1 of the light beam 19 is 600 mm, and the distance between the point C1 and an imaging point P2 of the light beam 19 is 88 mm.

[0068]

As mentioned above, the size of the elemental hologram 31 (length between the point C2 and the point C3) is 20 mm. Because the distance between the lens system 21 and the photosensitive material 18 is set to 50 mm, the diameter of the lens system 21 becomes around 30 mm.

[0069]

In the present invention, while following the process mentioned above, a hologram lens array is manufactured by recording the individual elemental holograms by means of such as a step and repeat method. When the other elemental holograms are recorded, the incident angles of the light beams incident on the centers of the elemental holograms are controlled by rotating the mirrors 16 and 20. Furthermore, in accordance with the size of the elemental hologram, the individual light beams 19 and 22 are controlled by using a mask (not shown) or a spatial light modulator (not shown) such as a liquid crystal.

[0070]

In this example, a method to record the elemental hologram by using an aberration-

light-beam composed of an off-axial light beam of a rotationally symmetric lens system is explained; however, it is possible to use a recording optical system such as a lens system including a cylindrical lens or a decentered lens.

[0071]

In addition, in this example, collimated beams are made to enter the lens systems 15 and 21 which function as aberrations generators; however, it is possible to convert the light beams into divergent light beams by using a concave lens, a convex lens, a microscope objective lens, or the like, instead of using the collimation system 13 as in this example, and to use the lens systems 15 and 21 as finite imaging systems.

[0072]

As described above, in Example 1, the off-axis type hologram lens array is divided in such a manner that the elemental holograms have the sizes to exhibit the same NA. Thereby, the off-axis type hologram lens array is obtained that secures a wide angle of view and that exhibits an even brightness distribution all over the hologram surface.

[0073]

In addition, a display apparatus having a wide image plane is obtained in which image information light emitted from a CRT or a liquid crystal display is reflectively diffracted into the observer's pupil by an off-axis type hologram lens array for enabling the observer to observe the image information without suffering from an uneven brightness distribution.

[0074]

Fig. 7 is a schematic diagram illustrating the display of Example 2 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0075]

In this example, a light beam emitted from a light source 71 such as a halogen lamp is collimated by a lamp house 72 having an appropriate shape, and illuminates a liquid crystal display 73 displaying image information. By a prism 74, the light beams emitted from each point of the liquid crystal display 73 are given astigmatism having sign (+ or –) opposite to that of a hologram lens 76 described latter, and then enters the hologram lens 76 formed on a transparent substrate made of glass, plastics, or the like.

[0076]

The hologram lens 76 suffers from astigmatism having a sign (+ or –) opposite to that

of the light beams given by the prism 74. Therefore, the light beam entered the hologram lens 76 becomes a collimated beam with its aberrations well corrected, and then enters the observer's pupil.

[0077]

This enables the observer to observe the image information of the liquid crystal display 3 formed as a virtual image in front of the hologram lens 76 and the other image information 80 in the same field of view, while spatially superimposing on each other.

[0078]

The hologram lens 76 exhibits reflective diffraction efficiency only to an incident light beam having a wavelength in a specific range (Bragg diffraction). Therefore, even the incident light beam is white light, it is possible to observe its image information by use of the color light having the wavelength in the specific range.

[0079]

In this example, a filter that transmits only a light beam having a wavelength in the specific range is not employed; however, an interference filter or the like may be used for eliminating a light beam having an unnecessary wavelength, and to prevent chromatic aberrations caused by the hologram lens.

[0080]

It is also possible to use a cold mirror or an infrared ray cut-off filter in order to cope with the heat or an infrared ray generated in the light source 71.

[0081]

Hereinafter, the values of each constituent component of this example will be explained in detail.

[0082]

The manufacturing process of the hologram lens 76 used in this example is as follows: For example, a coherent light beam emitted from an argon laser having the wavelength of 514.5 nm is split into two light beams by a half mirror or the like, and one of the light beams is made to enter a dry plate with the incident angle at 0° (vertical incidence) from a point 50 mm away from the dry plate as a divergent light beam (recording light beam).

[0083]

And, as a convergent light beam focused on a point 100 mm away from the dry plate,

the other light beam is made to enter the dry plate with the incident angle at 34° from the direction opposite to that the recording light beam enters from. Then, an interference fringe made by the two light beams is recorded and developed.

[0084]

As a photosensitive material, dichromate gelatin, photopolymer, a silver-salt photosensitive material, or the like can be used. Among them, in this example, photopolymer is used.

[0085]

The prism 74 that is used in this example is made of optical glass having a refractive index of 1.91, that has the apex angle of 16° and the central thickness of 5 mm, and that is disposed around 21 mm away from the hologram lens 76 in an inclined state at 5° relative to the optical axis. In addition, the distance between the prism 74 and the liquid crystal display 73 is around 8 mm. Furthermore, the liquid crystal display 73 is obliquely arranged at 4° relative to the optical axis.

[0086]

Fig. 8 is a schematic diagram illustrating the display of Example 3 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0087]

The distinct feature of this example is that a relay lens 78 is arranged between a liquid crystal display 73 and a prism 74, and the prism 74 is arranged near an intermediate image plane 79 of the relay lens 78. In other respects, the construction here is the same as in Example 2 shown in Fig. 7.

[0088]

This example will be explained below with emphasizing the difference from Example 2.

[0089]

The relay lens 78 is composed of a biconvex lens that is made of a material having a refractive index of 1.755 and that has the focal length of around 14 mm. In order to correct aberrations occurring on the hologram lens 76 and the prism 74, off-axial aberrations of the relay lens 78 are used. Therefore, at least some portion of the relay lens 78 is adequately decentered or inclined relative to the optical axis.

[0090]

The distance between the liquid crystal display 73 and the relay lens 78 is around 26 mm, between the relay lens 78 and the prism 74 is around 23 mm, and between the prism 74 and the hologram lens 76 is around 37 mm. The prism 74 made of a material having a refractive index of 1.487 has the apex angle of 10° and the central thickness of 4 mm, and is arranged with its first surface (the relay lens side surface) is substantially perpendicular to the optical axis.

[0091]

In this example, the relay lens 78 also corrects the aberrations occurring on the hologram lens 76, and therefore the aberrations are corrected further favorably.

[0092]

Fig. 9 is a schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 4 employing the hologram lens array embodying the present invention.

[0093]

The distinct feature of this example is that a relay lens 78 is arranged between a liquid crystal display 73 and a prism 74, and the prism 74 is arranged in a position nearer to the relay lens 78 than an intermediate image plane 79. In other respects, the construction here is the same as in Example 2 shown in Fig. 7.

[0094]

This example will be explained below with emphasizing the difference from Example 2.

[0095]

The relay lens 78 is composed of a biconvex lens that is made of a material having a refractive index of 1.755 and that has the focal length of around 15 mm. In order to correct aberrations occurring on the hologram lens 76 and the prism 74, off-axial aberrations of the relay lens 78 are used. Therefore, the relay lens 78 is adequately decentered or inclined relative to the optical axis.

[0096]

The distance between the liquid crystal display 73 and the relay lens 78 is around 27 mm, between the relay lens 78 and the prism 74 is around 16 mm, and between the prism 74 and the hologram lens 76 is around 50 mm. The prism 74 made of a material having a

refractive index of 1.487 has the apex angle of 5° and the central thickness of 1.5 mm, and is arranged with its first surface (the relay lens side surface) is inclined at 30° relative to the optical axis.

[0097]

In this example, the relay lens 78 also corrects the aberrations occurring on the hologram lens 76, and therefore the aberrations are corrected further favorably.

[0098]

The distinctive character of this example is that the prism 74 can become more compact than that of Example 3.

[0099]

The hologram lens 76 used in Examples 2, 3, and 4 is manufactured, as described before, by using interference between a divergent light beam and a convergent light beam; however, it is also possible to record the hologram while giving aberrations to these recording light beams in such a manner that aberrations observed when the hologram is reproduced (while in a use) will be corrected.

[0100]

Furthermore, in Examples 2, 3, and 4, astigmatism is made to occur on the prism 76; however, coma aberrations occurring in the display apparatus embodying the present invention can be corrected by using the hologram lens manufactured with coma aberrations given to the recording light beams.

[0101]

As described above, according to Examples 2, 3, and 4, when an observer observes image information emitted from an image display device as a virtual image by diffracting it in the direction to the observer's pupil by means of a hologram lens, by providing a prism between the image display device and the hologram lens, astigmatism occurring on the hologram lens is satisfactory corrected, and thereby a display apparatus that offers a high-resolution and a clear image can be obtained.

[0102]

[Advantages of the Present Invention]

According to the present invention, by appropriately setting the sizes of the individual elemental holograms of a hologram lens array, it is possible to realize an off-axis type

hologram lens that permits observation of an image having a wide observation field of view and an even brightness distribution while spatially superimposing the image information emitted from an image display device and other image information, and to realize a display apparatus employing the hologram lens.

[0103]

In addition, according to the present invention, when the image information emitted from an image display device and other image information are observed in the same field of view through a hologram combiner while being spatially superimposed on each other, by providing a prism in an optical path between the image display device and the hologram combiner, it is possible to correct coma aberrations and astigmatism sufficiently, and therefore a display apparatus that permits a favorable observation of image information can be realized.

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] A schematic diagram illustrating the principal part of a hologram lens array of Example 1 of the present invention.

[Fig. 2] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 1 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 3] A diagram illustrating a hologram lens of Example 2 of the present invention.

[Fig. 4] A schematic diagram illustrating the principal part of a process for manufacturing a hologram lens embodying the present invention.

[Fig. 5] A diagram illustrating a recording beam of a hologram lens embodying the present invention.

[Fig. 6] A diagram illustrating a recording beam of a hologram lens embodying the present invention.

[Fig. 7] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 2 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 8] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 3 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 9] A schematic diagram illustrating a display apparatus of Example 4 employing a hologram lens array embodying the present invention.

[Fig. 10] A schematic diagram illustrating the principal part of a display apparatus employing a conventional hologram lens.

[Reference Symbols]

1, 77	Aperture Surfaces (Pupil)
2, 75	Substrates
3, 76	Hologram Lenses
4	Light Beam
5	Image Plane (Image Information)
6, 73	Image Display Devices
7, 72	Lamp House
8, 71	Light Source
74	Prism
78	Relay Lens
80	Image information